

ЛИТЕРАТУРА

1. Канчуков В.З. Определение профиля жидкой капли на твердой поверхности. // Письма в ЖТФ. – 2004. – Т. 30, Вып. 2. – С. 12–16.
2. Братухин Ю.К., Макаров С.О., Теплова О.В. О равновесных формах и устойчивости плавающих капель. // Известия РАН, сер. Механика жидкости и газа. – 2001. – Т. 36, №4. – С. 3–12.
3. Братухин Ю.К. и др. Устойчивость стационарного разрыва жидкого слоя на поверхности несмешивающейся жидкости. // Известия РАН, сер. Механика жидкости и газа. – 2009. – Т. 44, №3. – С. 11–22.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Гидродинамика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 736 с.

**МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСЛЕННО-
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ
ТОНКОСТЕННЫХ НЕОСЕСИММЕТРИЧНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ВОЛНОВОДОВ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**Кудрявцев И.В., Сильченко П.Н., Михнёв М.М.,
Барыкин Е.С., Гоцелюк О.Б.*

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный
университет», г.Красноярск, Россия

Расчет оболочечных конструкций связан с необходимостью решения системы дифференциальных уравнений равновесия с соответствующими граничными условиями. При этом получить требуемое решение в аналитическом виде не всегда представляется возможным, особенно для оболочек с особенностями геометрического или физического характера, вида закреплений и др.

Например, если оболочечная конструкция имеет области резкого изменения геометрии в виде складок, а также неосесимметричность поперечного сечения, то такую конструкцию уже затруднительно описать одной системой дифференциальных уравнений равновесия теории оболочек. Выходом из ситуации может являться разбиение исходной конструкции на совокупность подобластей, каждую из которых будет возможно описать теорией оболочек и пластин. Общее решение в этом случае должно будет представлять собой совместное решение для систем уравнений, описывающих поведение каждой подобласти совместно с соответствующими граничными условиями и условий их взаимодействия.

Применительно к оболочечным конструкциям волноводов космических аппаратов связи, имеющим тонкостенное прямоугольное неосесимметричное поперечное сечение, нами было выполнено их моделирование набором из четырех пластин, соединенных под прямым углом друг к другу [1]. Для каждой пластинки получена система дифференциальных уравнений равновесия с условиями их взаимодействия между собой в составе конструкции волноводов в целом, а также условиями закрепления и нагружения, которая имеет вид [2]:

$$\nabla^4 \omega_i = \frac{1}{D} \left[\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial \alpha_i^2} h \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \alpha_i^2} - 2h \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial \alpha_i \partial \beta_i} \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \alpha_i \partial \beta_i} + \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial \beta_i^2} h \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \beta_i^2} - q_{ai} \frac{\partial \omega_i}{\partial \alpha_i} - q_{\beta i} \frac{\partial \omega_i}{\partial \beta_i} + q_{zi} - \rho h \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial t^2} \right] \quad (1)$$

$$\nabla^4 \phi_i = Eh \cdot \left(\left(\frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \alpha_i \partial \beta_i} \right)^2 - \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \alpha_i^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \beta_i^2} \right),$$

где $i = 1, 2, 3, 4$.

Полученная система (1) определяет полное напряженно-деформированное состояние (НДС) прямого участка волновода в целом. Однако получить решение для общего случая нагружения даже одной пластинки является весьма трудной задачей, на что указывал еще С.П. Тимошенко в своем известном труде [3] на стр. 463. Проведенный нами анализ научной литературы показал, что это проблема является актуальной до сих пор даже для одной пластинки. В случае же расчета оболочечной конструкции волноводов общее решение будет определяться набором из четырех пластинок, что существенно усложняет задачу.

Полученные численные решения данной задачи в известных пакетах (Ansys, Nastran) показали, что результаты расчета прямого участка волновода, особенно в динамической постановке, сильно зависят от целого ряда настроек решения: количества и видов используемых конечных элементов, дискретизации сетки и др. Это приводит к большим неопределенностям в полученных решениях и не позволяет достоверно судить о действительном НДС волновода.

Для получения более достоверных данных нами была проведена серия экспериментов по исследованию НДС прямых участков волноводов на действие простых видов нагружения в статической постановке. Данные о состоянии волновода брались с миниатюрных тензодатчиков, закрепленных на нем в характерных точках таким образом, чтобы можно было оценивать как локальное, так и глобальное поведение исследуемой конструкции.

По полученным данным методом кубической интерполяции строились кривые деформированной формы тонкостенной конструкции волновода при различных простых случаях нагружения (растяжение-сжатие, изгиб, кручение).

На последнем этапе, общее численно-экспериментальное решение строим комбинированным, состоящим в основе из кубического сплайна и ряда уточняющих функций. В сумме, полное решение системы дифференциальных уравнений (1), описывающих статическое и динамическое состояние образцов будет иметь вид:

$$\omega(\alpha, \beta) = \omega_0(\beta) + \sum_n [\omega_{ш}(\alpha, \beta) + \omega_y(\alpha, \beta) + \omega_d(\beta) + \omega_3(\alpha, \beta)], \quad (2)$$

$$\phi(\alpha, \beta) = \sum_n [\phi_{ш}(\alpha, \beta) + \phi_y(\alpha, \beta) + \phi_d(\beta) + \phi_3(\alpha, \beta)]$$

где $\omega_0(\beta)$ – кубический сплайн; $\omega_{ш}(\alpha, \beta)$, $\omega_y(\alpha, \beta)$, $\omega_d(\alpha, \beta)$ – функции в виде рядов Фурье, полученные на основе аппроксимации экспериментальных данных,

уточняющие общее решение и подтверждающие его достоверность.

Уточняющие функции $\omega_3(\alpha, \beta)$ и $\varphi_3(\alpha, \beta)$ получены путем разложения в ряды Фурье кривых, построенных на деформированной поверхности образцов. Данные уточняющие функции будут подчинять общее решение полное решение системы дифференциальных уравнений (1) значениям в местах установки датчиков деформации для каждого из случаев простого нагружения.

Каждый этап решения оформлен в виде отдельного модуля (подпрограммы), которые в совокупности образуют единый вычислительный комплекс [4].

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-257.2013.8

ЛИТЕРАТУРА

1. Сильченко П.Н., Кудрявцев И.В., Михнёв М.М., Наговицин В.Н. Методика расчёта напряжённо-деформационного состояния волноводно-распределительных систем космических аппаратов // Журнал СФУ. Серия: Техника и технологии. – 2012. – №2. – С 150–161.
2. Сильченко П. Н., Кудрявцев И.В., Михнёв М.М. Система дифференциальных уравнений для элемента волноводного тракта КА // Междунар. конф. по дифф. уравнениям и динамическим системам – Суздаль, 2010 г.– С.172–174.
3. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. – М.: Эдиториал УРСС, пер. с англ., изд.3, 2009.– 640 с.
4. Статический анализ прочностных параметров складчатых тонкостенных оболочечных конструкций волноводов с замкнутым поперечным сечением / Сильченко П.Н., Кудрявцев И.В., Михнев М.М. и др. // Свидетельство о гос.регистрации программы для ЭВМ № 2012661200 от 10.12.2012г.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УПРУГИХ ПЛОСКИХ ВОЛН В ВОЛОКНИСТО-АРМИРОВАННОМ КОМПОЗИТНОМ МАТЕРИАЛЕ

**Кушнеров Е.А., Данишевский В.В.*

Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры,
Днепропетровск, Украина

В данной работе рассматривается задача о распространении плоских упругих волн в волокнистом композите с квадратной решеткой цилиндрических включений. Распространение волн в неоднородной среде носит дисперсионный характер вследствие рассеяния энергии на неоднородностях. Когда длина волны уменьшается и становится соизмеримой с размером внутренней структуры, в композите обнаруживаются частотные зоны пропускания и запираания. Если частота попадает в зону запираания, в материале возникает стоячая волна, групповая скорость которой равна нулю. При этом амплитуда сигнала на макроуровне экспоненциально затухает.

В этом случае композит играет роль волнового фильтра, данное свойство композитных материалов может быть использовано в неразрушающих методах контроля материалов и конструкций, имеющих композитную структуру. Изучая различные характеристики волн можно получить подробную информацию о микроструктуре композитного материала. Структура чередующихся зон запираания и пропускания является уникальным идентификатором композитного материала. Так же исследуемые особенности композитных материалов могут быть использованы при разработке вибро- и звукоизоляционных материалов, акустических фильтров и т.д.

Решение задачи получено при помощи волнового представления Флоке-Блоха. При этом свойства компонентов представлялись в виде разложений в ряды Фурье. Исследовано влияние микроструктуры на динамические свойства композитных материалов. Рассмотрена задача о распространении плоских упругих волн в волокнисто-армированном композитном материале. Найдены дисперсионные соотношения, определены частотные зоны запираания и пропускания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В.И., Андрианов И.В., Данишевский В.В. Асимптотические методы расчета композитных материалов с учетом внутренней структуры. – Днепропетровск: «Пороги», 2008. – 196 с.
2. Poulton C.G., Movchan A.B., McPhedran R.C., Nicorovici N.A., Antipov Y.A. Eigenvalue problems for doubly periodic structures and phononic bandgaps // Proc. R. Soc. Lond. A. – 2000. – V.456. – P.2543–2559.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ТЕЛ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Лавинский Д.В.

НТУ «ХПИ», Харьков, Украина

Электромагнитное поле (ЭМП) является условием работы для многих технических и технологических систем. При наличии ЭМП на элементы систем действуют пондеромоторные силы (ПС). Характерным примером того, как импульсное ЭМП влияет на процесс деформирования являются системы для обработки материалов. Как известно, магнитно-импульсная обработка металлов (МИОМ) основана на явлении пластического деформирования заготовок под действием ПС. При этом ПС в одинаковой степени приводят к возникновению напряжений как в заготовке, так и в инструменте (индукторе). Причем опыт эксплуатации различных систем для МИОМ показывает, что нарушение прочности (стойкости) индуктора является очень часто ключевым моментом, которые не позволяет внедрять перспективные расчетные схемы. Таким образом, анализ напряженно-деформированного